

Рыбалко В. Г., Новгородов Д. В., Ефремов Т. А., Рыбалко С. В.
ИФМ УрО РАН, НПП Нефтегаздиагностика, г. Екатеринбург

АНАЛИЗ ПРИЧИН ПОВТОРНОГО ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ КРН НА ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ УЧАСТКАХ ГАЗОПРОВОДОВ

Целью работы было определение причин возникновения трещин после ремонта линейных участков магистральных газопроводов. В ходе выполнения работы дефекты идентифицированы как трещины коррозионного растрескивания под напряжением образовавшимися во время предшествующего периода эксплуатации из-за наличия многочисленных глобулярных неметаллических включений на поверхности трубы, действия растягивающих напряжений и коррозионно-активной среды. Причиной их не выявляемости при внутритрубной дефектоскопии являются малая длина и раскрытие. Оценка механических свойств и их взаимосвязь с образованием дефектов коррозионного растрескивания показала отсутствия корреляции. Это свидетельствует, что чувствительность трубных сталей к коррозионному растрескиванию в условиях эксплуатации магистральных газопроводов определяется не маркой стали, то есть средним марочным составом, а менее контролируемые технологическими особенностями, возможно, наличием малых примесей и коррозионной активностью неметаллических включений.

Ключевые слова: магистральные газопроводы, капитальный ремонт, трещины коррозионного растрескивания, механические свойства, напряженно деформированное состояние.

Одной из форм повреждаемости газопроводов является коррозионное растрескивание под напряжением (КРН). Считается, что на склонность металла газопроводов к КРН влияют качество и состав стали, загрязненность примесями и неметаллическими включениями, определяемые технологиями выплавки и прокатки [1]. Предотвращение аварий и эффективная оценка технического состояния являются важнейшими задачами для газотранспортных предприятий.

Основным инструментом диагностики газопроводов является внутритрубная инспекция (ВТД). По данным диагностических организаций [2], дефектность КРН увеличивается от инспекции к инспекции. Новые дефекты КРН продолжают обнаруживаться на тех участках, где подобные дефекты уже были выявлены и удалены.

По результатам ВТД на участках газопроводов севера Тюменской области, проводился капитальный ремонт протяженного участка. После вырезки катушек и вварки новых на оставленных трубах в зоне до 50 см от стыкового шва были визуально обнаружены продольные трещины (рис. 1) глубиной от 1 до 5 мм. До ремонта указанные дефекты не диагностировались. Наиболее распространенным следствием дефектов сварочного процесса является образование «холодных» трещин.

Цель настоящего исследования – определение причин возникновения продольных трещин в зоне стыкового шва, обнаруженных при ремонте трубы, после вырезки дефектных катушек и вваривания новых.

Материалом лабораторных исследований являлись 10 темплетов от труб с размерами в среднем 350×500 мм (рис. 1), которые включали стыковой шов. Выявленные дефекты исследовались на поперечных образцах, вырезанных из различных зон темплетов.

В процессе исследований определялась структура металла труб, проводилась металлографическая оценка фактических глубин трещин, а также определялся характер и степень их развития. Кроме того, выполнена оценка механических свойств, определена ударная вязкость КСУ (–60 °С) и оценена твердость.



Рис. 1. Вырезка участка трубы с коррозионными трещинами

Металлографическое исследование сталей показало, что структурное состояние представляет собой феррито-перлитную смесь, соответствующую технологии контролируемой прокатки. Также в структуре стали всех исследованных дефектных темплетов наблюдаются в большом количестве глобулярные коррозионно-активные неметаллические включения в виде недеформируемых оксидов и оксисульфидов (рис. 2), содержание которых соответствует 4–5 баллу. Проведенный анализ состояния дефектов, в виде скоплений мелких продольных трещин, позволяет выделить следующие характерные особенности.

На наружной поверхности трубы исследуемые дефекты выявляются (рис. 3) в виде скоплений продольных трещин длиной от 5 мм до 25 мм, расположенных параллельно друг другу. Ширина дефектов на поверхности до 100 мм, длина дефектов до 150 мм. Раскрытие берегов отдельных трещин на наружной поверхности не более 0,1–0,2 мм. Траектория трещин извилистая, наблюдается существенное растравливание берегов трещин. Полости дефекта заполнены плотными окислами, что, свидетельствует о коррозионном механизме роста трещин, продолжавшимся достаточно длительное время и квалифицируемом как КРН. Это означает, что на момент выполнения ремонта на участке газопровода уже существовали трещины КРН.

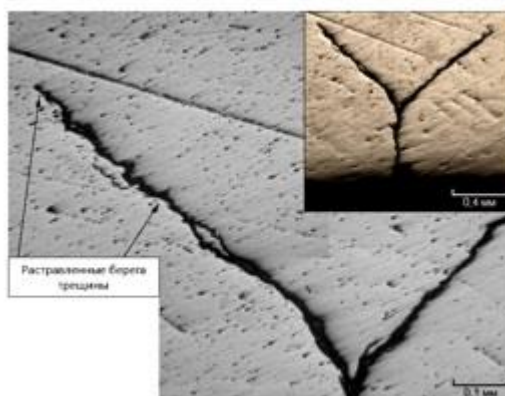


Рис. 2. Загрязнённость металла трубы недеформирующимися точечными включениями; растравленные берега КРН

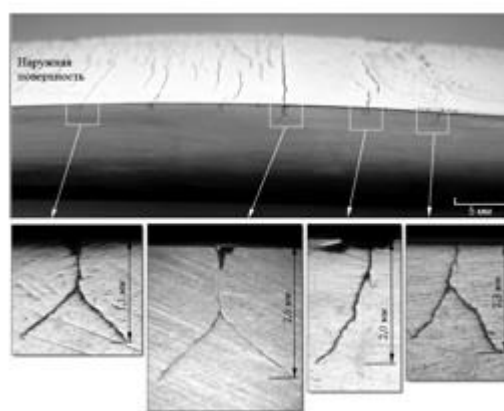


Рис. 3. Развитие трещин КРН от питтингов; ветвление в результате перегрузки

Структурной особенностью трубного металла, определяющей длину зародышевых трещин и напряженное состояние в вершине трещин КРН, является форма и распределение центров коррозионной активности — неметаллических включений. Общим признаком рассматриваемых в данной работе дефектных труб является наличие обширных полей точечных включений.

В рассматриваемом случае наличие большого количества коррозионно-активных центров в виде недеформируемых глобулярных неметаллических включений обуславливает множественное формирование питтингов (рис. 2), являющихся зародышами трещин, и соответственно приводит к возникновению высокой плотности относительно коротких трещин с максимальной глубиной в дефекте 1–2 мм, и в одном случае (на одном темплете) — до 5 мм. Небольшая

длина трещин КРН с малым раскрытием берегов на наружной поверхности стенки трубы (преимущественно до 20 мкм) может являться основной причиной не выявления при ВТД этих трещин. Трещины имеют растравленные берега, что свидетельствует об их стабилизации, поэтому раскрытие берегов трещин практически равносильно их началу повторного роста. На эту возможность, указывает наличие на трещине зонального строения профиля – изменения направления роста на 45° , что свидетельствует об имевшей место перегрузке в область начала течения и повторном развитии трещины в направлении действия касательных напряжений.

При выполнении ремонтных операций, связанных с вырезкой дефектных участков, могли существовать высокие сварочные напряжения, которые вызвали раскрытие берегов уже имевшихся в стенке трубы коротких трещин КРН. Данный результат – возможность пропуска при ВТД коротких, но относительно глубоких трещин, имеет непосредственное отношение к достоверности оценок технического состояния обследованных участков газопровода. Выше отмечалось, что дефекты КРН продолжают обнаруживаться на тех участках, где подобные дефекты уже были выявлены и удалены. По-видимому, в этом случае речь идет о сходной ситуации, когда сварочные напряжения при ремонте вызывают раскрытие берегов имевшихся трещин и тем самым способствуют развитию трещин в следующем межинспекционном периоде.

Оценка механических свойств показала, что исследуемые стали соответствуют классу прочности К60. При этом линейные размеры трещин КРН практически одинаковы на 9 обследованных трубах и составляют 1–2 мм глубины; на одной трубе – для металла с самым низким значением удара, трещин практически не обнаружено, а для трубы со средними характеристиками прочности трещины достигали глубины 5 мм. Эти сравнительные данные свидетельствуют об отсутствии прямой зависимости, между механическими свойствами металла исследуемых трубных темплетов и наличием (размерами) обнаруженных трещин КРН.

При выполнении послеремонтного обследования отмечается, что в зоне стыкового шва визуально диагностируется наличие и конфигурация поверхностных продольных трещин. Этот факт свидетельствует о том, что ремонтные операции привели к остаточному раскрытию поверхностных трещин вследствие, по-видимому, действия высоких растягивающих сварочных напряжений, эквивалентных по величине пределу текучести материала. Дополнительное раскрытие берегов трещин обеспечивает доступ коррозионной среды в вершину трещины и может стимулировать развитие ранее стабильных остановившихся трещин в следующем межинспекционном периоде на участках, где по данным диагностики были уже выполнены ремонт и удаление трещин КРН.

В результате исследования трещиноподобных дефектов, обнаруженных при обследовании труб большого диаметра после варки ремонтных катушек установлено:

1. Отсутствие корреляции механических свойств, наличия и размеров трещин КРН свидетельствует о том, что чувствительность трубных сталей к коррозионному растрескиванию в условиях эксплуатации магистральных газопроводов определяется не маркой стали, а менее контролируемыми технологическими особенностями – содержанием неметаллических включений и наличием малых примесей
2. Небольшая длина трещин КРН с малым раскрытием берегов на наружной поверхности стенки трубы является основной причиной не выявления этих трещин при ВТД.
3. Причиной раскрытия берегов трещин и появления возможности их визуальной регистрации является проведение ремонтных мероприятий и воздействие высоких сварочных напряжений при варке катушек.

Литература

1. Влияние технологии изготовления труб большого диаметра на возможность их КРН / Д. Г. Репин, В. Н. Лисин, Е. А. Спиридович, Н. Е. Никитина // Газовая промышленность. 2008. № 3. С. 66–69.

2. Мониторинг дефектности и прогноз состояния магистральных газопроводов России / Д. П. Варламов, В. А. Канайкин, А. Ф. Матвиенко, О. И. Стеклов // Уральский центр академического обслуживания. Екатеринбург. 2012. 250 с.